

## 新パラダイムによる橋梁構造の基本概念に関する研究

## 学位論文内容の要旨

従来、橋梁においては、床版を有する一般の高架橋に代表されるように、橋梁を構成する構造自体は静的な構造体であり、動的応答等は別として、基本的には橋梁構造そのものは動かないという大前提に立って研究開発や事業等が進められていた。橋梁のイメージは既に定まっており、橋梁という大きな概念は、変わらないという暗黙の了解で物事が捉えられていた。

橋梁構造においては、桁橋や斜張橋、吊橋といった形式の違いや、コンクリート橋や鋼橋など材料の違いによって、様々な構造形態はあるにせよ、橋梁構造そのものが大幅に変化し、その構造変化によって、道路交通などが質的に大きく変化するという事はなかった。

現行の道路交通は世界的にも陸上交通の主役であるが、橋梁は、道路網の要のインフラとしてその役割を果たしてきた。しかしながら、IT、コンピュータ、情報通信ネットの急速な地球規模の進展、地球環境問題、増大する道路・橋梁の建設・維持管理コスト、国際標準化の波など、既存の枠組みに対し、様々な変化・変革が求められており、それは橋梁分野も例外ではない。

本論では、このような認識の下、まず、大枠からの検討のため、橋梁が関連する道路交通の新しいパラダイムを求め、自動運転、路面側が自動車を動かすという2つの新パラダイムを得た。次に、新パラダイムを実現に向けて具体的に展開していく構築手段として、対象を空間的に探求し、構造化し、統合化していくシステムストラクチャという新概念を創出した。

そして、得られた新パラダイムに対して、このシステムストラクチャを適用することによって、世界初の新しい橋梁システム、即ち、自動運転を実現する仮想橋梁システム、パレットに自動車を搭載して、個々の自動車の高速・浮上走行を実現する新橋梁システムを得ることができた。

まず、自動運転を実現する仮想橋梁システムであるが、これは、上空約20kmの成層圏に滞空する成層圏プラットフォーム(PF)と地上局等とを電波で有機的に連結することにより、地上の位置測定をリアルタイム・超高精度で行い、道路種別によらず、一定地域全域にわたり、車両の自動運転を可能とする電波空間上に展開された仮想的な橋梁システムのことである。

次に、新橋梁システムでは、路面側が自動車を動かすので、従来の自動車のタイヤ走行が持つ種々の制限や限界から脱却でき、道路交通が抱える諸問題の解決をなお一層図ることができる。我が国は、用地費が高く、利用可能な土地も限られるので、路面側が自動車を動かす、いわば車両用の動く道路は、橋梁タイプが主となる。新橋梁システムは、動くインフラ部分であるパレットとパレットを支持する鋼構造のガイドウェイを組み込んだ橋梁本体から成り立つ。活荷重が、自動車のタイヤの集中荷重から、自動車搭載のパレットの非接触・分散荷重へと変化するので、橋梁の構造が大幅に変化し、全般的にスリムとなり、新たな構造性能を有する橋梁となる。

パレットの走行支持は磁気浮上が有利であり、方式は、省エネ、低コストの電磁吸引制御方式(Electromagnetic Suspension System: EMS)を採用することとした。また、通常、片側に対してひとつの電磁石ユニットを、左右2つに設置し、ガイドウェイ側も2対の磁極面ユニットを設置することにより、電子的に高速で分岐・合流が可能な鋼構造の基本デザインを得た。

この原理的解決により、パレットの高速分岐・合流が可能となり、個別交通が可能となった。

次に、パレット推進力効率の大幅な向上を図るため、リニアモータの支持マウントをパレット本体から独立懸架構造とし、本体との間にアクチュエータを配置して、浮上制御とは独立して、リニアモータのギャップ長をセンシング制御する構造の基本デザインを得た。その結果、リニアモータの効率を回転モータ並みに上げる目処がたった。

磁気浮上すると、転がり抵抗や伝達抵抗はなくなる。走行抵抗等の計算の結果、乗用車の場合、約 100km/h の走行速度で、数分の一程度のエネルギーで走行可能であることが判明した。

パレットに自動車を搭載し、磁気浮上走行させた方が、タイヤ走行よりも、エネルギーが掛からない。これは常識的な考えを覆すものである。新橋梁システムは、通常車の高速・自動走行だけでなく、高密度・省エネ走行を実現し、大気汚染防止、低振動・低騒音等が図れ、道路交通の革新となり、非接触・分散荷重により、構造のスリム化とともに、長持ちする構造となる。

本研究によって、新パラダイムの橋梁の構造が体系的に得られたことは、現行の道路交通が抱える諸問題のなご一層の解決や、建設産業、自動車産業等含め様々な新産業の創出が図れるだけでなく、地球環境やエネルギー、交通事故の撲滅等、人類的な課題にもその貢献が期待できる。

本論文は、8章から成っており、構成は以下のとおりである。

第1章の「序論」では、研究の背景と目的、本研究の特徴、本論文の構成について述べている。

第2章の「地球を取り巻く現況と交通の課題」では、地球規模の情報化進展、地球環境問題など地球を取り巻く現況を考察し、現在の交通が抱える課題について検討している。

第3章の「科学技術の発達史と先端交通技術」では、科学技術の発達史を概括し、科学技術の発展の源泉力について考察を行い、ITS、マグレブなどで代表される既往の先端交通技術について調査し、未来の交通の方向性について、自動、浮上という2大キーワードで概括している。

第4章の「イノベーションとシステムストラクチャ」では、イノベーションの必要性和イノベーションの類型について整理・考察している。また、創造的なイノベーションであるプロダクト・イノベーションを興す核となる新パラダイムについて、その考え方を整理し、空間的に新たなサブシステムを探索し、全体に配置・統合化する、新概念のシステムストラクチャの導入により、橋梁に関する新ビジョンを得ている。

第5章の「成層圏一地上間の仮想橋梁システム」では、前章を受け、成層圏 PF の紹介をし、成層圏 PF と地上局等を有機的に連結しそのリアルタイムかつ超高精度な位置測定機能により、車両の自動運転を実現する電波空間上の仮想橋梁システムの構造とその特徴について述べている。

第6章の「新橋梁システムの基本概念と基本構造」では、第4章を受け、まず、新橋梁システムの基本概念について紹介する。また、自動車を搭載するパレットを支持するガイドウェイは、EMS 方式の鋼構造となるが、基本走行オペレーション分析とシステムストラクチャの適用により、その浮上、推進、分岐などの基本的な機能に関する基本構造を得ている。

第7章の「新橋梁システムの性能と構造特性」では、まず、新橋梁システムの性能について検討を行い、新橋梁システムの構造性能、交通性能について考察している。また、基礎的な走行抵抗値の計算により、基本的なパレット走行エネルギー消費量を求め、その基礎的な走行エネルギー評価を行っている。そして、新橋梁システムの橋梁構造に対して、活荷重や荷重伝達機構など基本的な考察を行うとともに、構造計算により、基本的な構造特性について考察している。

第8章の「結論」では、本研究における新パラダイムの橋梁の構造について得られた主な知見を総括している。また、様々な基盤的考察から新パラダイム、システムストラクチャによる基本的な構造設計の展開は、新しい設計法であることを未来へ向けての展望とともに述べている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 藤 浩 一  
副 査 教 授 角 田 與 史 雄  
副 査 教 授 三 上 隆  
副 査 助 教 授 林 川 俊 郎

## 学位論文題名

### 新パラダイムによる橋梁構造の基本概念に関する研究

現行の道路交通は世界的にも陸上交通の主役であるが、橋梁は道路網の要のインフラとしてその役割を果たしてきた。しかしながら、従来、橋梁分野においては、橋梁という基本概念そのものは変わらないという暗黙の了解で物事が捉えられ、研究開発や事業等が進められていた。ところが、こうした橋梁がビルトインされた道路網による自動車・道路交通は、交通安全問題、大気汚染・騒音・振動などの交通環境問題、都心の交通渋滞、増大する道路・橋梁構造物の建設・維持管理費のコスト、将来の危機が懸念される化石燃料のエネルギー問題など、さまざまな社会問題を抱えていると思われる。こうした諸問題の解決には、従来の延長線での改善は別として、現行の自動車交通の基本枠組みを変え、橋梁の基本概念を変えない限り、抜本的な解決は望めないであろう。本研究では、これらの認識に基づき、既存の枠組みから検討を行い、新しいパラダイムとは何かについて探求し、新パラダイムによる自動車交通の基本枠組みを構築して、橋梁構造の基本概念を得ることを目的としている。

本論文は8章から構成されている。

第1章では、研究の背景と目的、本研究の特徴、本論文の構成について述べている。

第2章では、地球規模の情報化進展、地球環境問題など地球を取り巻く状況を考察し、現在の交通が抱える課題について検討している。

第3章では、科学技術の発達史を概観し、科学技術の発展の源泉力について考察し、また、ITS、マグレブなどで代表される既往の先端交通技術について概観し、未来の道路交通システムの課題等について考察し、自動、浮上という2つのキーワードで得ている。

第4章では、インフラのイノベーションの必要性とその類型を整理し、プロダクト・イノベーション及びパラダイムの転換の必要性について述べている。また、新パラダイムの実現に向けて、展開への強力な構築手段として、システムストラクチャという新概念を創出した。新パラダイムとこの新概念導入により、結果として、橋梁に関する2つの新ビジョンを得ている。即ち、仮想橋梁システムと新橋梁システムである。

第5章では、成層圏―地上間を有機的に連結し、広範囲の自動運転を実現する巨大な仮想橋梁システムを得ている。即ち、地上の4つの電波局と成層圏の4つの成層圏プラットフォーム(PF)とを電波空間上において有機的にリンク構造化することによって、リアルタイムの広範囲な超高精度の位置測定機能を有する巨大な仮想橋梁システムである。このシステムの構築により、道路種別によらず、一定地域全域にわたり、車両の自動運転が可能となるであろう。

第6章では、車両用の動く道路の一部である新橋梁システムは、超高速で浮上走行する、動く

インフラ部分であるパレットと、それを支持する鋼構造のガイドウェイを組み込んだ橋梁本体で構成される新しいコンセプトの橋梁である。自動車は、パレットに搭載されて高速移動が可能となる。この新方法により、通常自動車は、従来の自動車のタイヤ走行が持つ種々の制限や限界から脱却でき、自動車・道路交通が抱える諸問題の全面的解決が図れることになるであろう。具体的なパレットの走行については、支持は、磁気浮上方式とし、その方式は省エネルギーで、かつ低コストの磁気吸引方式であるEMS方式を採択することとしている。また、パレット走行の個別性を図るため、通常、片側に対してひとつの磁気吸引ユニットを、左右2つに置いて、ガイドウェイ側も2対の吸引ユニットを設置し、電子的に高速で分岐・合流が可能な鋼構造の基本デザインを得ている。次に、パレット推進の効率の大幅な向上を図るため、リニアモータの支持マウントを車両本体から独立懸架構造とし、車両本体との間にアクチュエータを配置して、浮上制御とは独立してセンシング制御する基本構造デザインを得ている。その結果、リニアモータの効率を回転モータ並みに上げる目処が見つかったことを述べている。

第7章では、その新しい性能について調査研究を行い、走行抵抗等の基礎計算により、基本的なパレット走行エネルギー消費量を求め、その基礎的なエネルギー評価を行っている。即ち、磁気浮上すると、転がり抵抗や伝達抵抗は殆どゼロとなる。基本的な走行エネルギー計算の結果、乗用車の場合、約100km/hの走行速度で、数分の一程度のエネルギーで走行可能であることを明らかにしている。

具体的には、磁気浮上の動く道路の一部である新橋梁システムが実路線配備されれば、活荷重がタイヤ荷重からパレット分散荷重へと変化し、即ち、非接触・分散荷重という新条件により、構造的にもスリム化が図れるだけでなく浮上走行によって、自動車の超高速・自動走行が実現され、省エネ走行となり、振動・低騒音、低環境負荷といった環境面の大幅な改善が図れ、半永久的に長持ちする橋梁が可能となる等、新次元の性能を有する橋梁が実現されるであろう。

第8章では、本研究における2つの新パラダイムの橋梁システムについて得られた知見を総括している。そして、未来へ向けての課題と展望について述べている。

これを要するに、著者は新パラダイムと新概念の導入により、未来の橋梁構造の基本概念を得ることを目的に、具体的には地上の位置測定をリアルタイム・超高精度で行うことが可能な電波空間上に展開された仮想橋梁システムを得たうえで、また、活荷重が自動車のタイヤの集中荷重から自動車搭載のパレットの非接触・分散荷重へと変化する新たな構造性能を有する新橋梁システムを得たものであり、橋梁工学ならびに構造工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。